УДК 621.315.61 + 06

**И.А. СЕМКО, Г.Е. СОЛОВЬЕВ, Н.П. ВОРОНОВА, О.В. НЕВРЕТДИНОВА**

# ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЛОЖНЫХ ПО СТРУКТУРЕ ТВЕРДЫХ, КОАКСИАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

*Рассматриваются поляризационные потери и их влияние на диэлектрические свойства сложной по структуре изоляции. Приведены графики количественной и качественной зависимости некоторых характеристик от температуры. Показано, что при выборе определенных элементов и конструкций необходимо, кроме стандартных величин, учитывать и коэффициент диэлектрической проницаемости материала.*
***Ключевые слова:** поляризация, диэлектрические потери, влияющие факторы, качество изоляции.*

При решении практических задач в ряде случаев не придается особого значения поляризационным процессам, протекающим в структуре сложных по составу, коаксиально сформированных диэлектрических конструкциях. Особенно это важно при длительной работе электротехнических устройств на высоких значениях рабочего напряжения.

Для большинства изоляционных материалов характерным является тот факт, что степень и характер поляризационных процессов в различных диапазонах рабочих температур будут значительно отличаться даже у одного и того же типа изоляции, а эти электрофизические процессы в значительной степени будут обуславливать основные диэлектрические характеристики материала и, соответственно, надежность работы электроустановок.

Существует два основных вида поляризации: поляризация, не вызывающая диэлектрических потерь, и поляризация, вызывающая диэлектрические потери в виде тепла, обусловленные воздействием электрического поля определенной частоты и интенсивности на элементарные частицы структуры диэлектрика.

Поляризационные процессы первого вида, как правило, не вызывают диэлектрических потерь, и к ним относятся электронная и ионная поляризация. Этот вид поляризации протекает достаточно быстро, практически мгновенно, и время протекания $\tau = 10^{-15} - 10^{-13}$ [1].

Этот вид поляризации характеризуется только деформацией оболочек атомов и частичным смещением электронов внутри атомов, что не приводит к смещению самих атомов и, соответственно, не приводит к диэлектрическим потерям энергии. Однако следует отметить, что при этом виде поляризации из-за смещения электронов в структуре диэлектрика будут формироваться дипольные моменты [2]. Таким образом поляризованная микрочастица будет обладать небольшим электрическим моментом, который можно определить следующей зависимостью:

$$M_д = Q\ l,$$

где $M_д$ – момент дипольный; $Q$ – элементарный заряд; $l$ – расстояние между зарядами.

Общее же количество элементарных электрических моментов в поляризованном диэлектрике будет определять степень поляризованности материала (*j*).

$$j = R_э \quad E \,,$$

где $R_э$ – диэлектрическая восприимчивость; *E* – напряженность электрического поля.

Следует отметить, что диэлектрическая восприимчивость $R_э$ дает возможность определить один из важнейших параметров изоляционного материала – относительную диэлектрическую проницаемость

$$\xi_{rэ} = 1 + R \,.$$

Немаловажным фактором, влияющим на диэлектрические свойства изоляции, является температура, которая в различных интервалах в той или иной степени может изменять основные характеристики материала. Это влияние определяется температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости.

$$TK_{\xi_r} = \frac{(\xi_r - 1)(\xi_r + 2)}{2\xi_r} \; \beta_v \,,$$

где $\beta_v$ – температурный коэффициент объемного расширения.

Для наглядности на рис. 1,2 показаны графики количественной и качественной зависимости некоторых характеристик от температуры для достаточно сложного по структуре твердого изоляционного материала, каковым является резина.

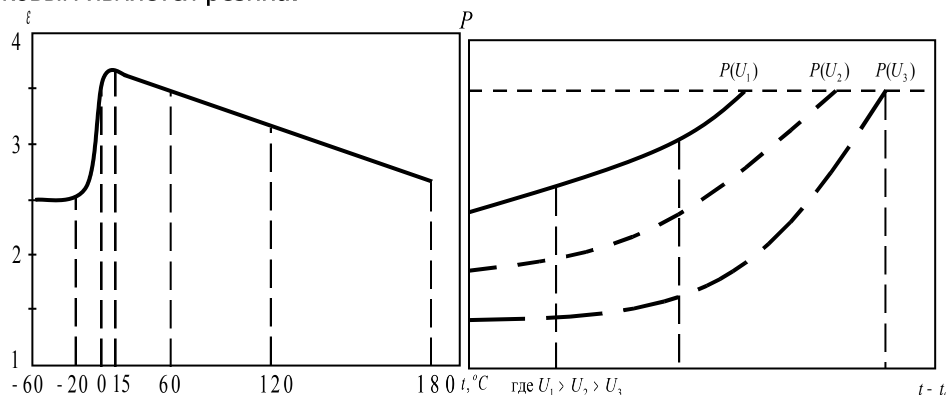



Рис. 1. График зависимости относительной диэлектрической проницаемости резины от температуры при работе на промышленной частоте

Рис.2. Качественная характеристика зависимости мощности потерь от температуры при различных значениях прикладываемого напряжения для резины

Символами $P(U_1)$, $P(U_2)$, $P(U_3)$ на рис. 2 обозначены мощности потерь при различных значениях прикладываемого напряжения, причем $U_1 > U_2 > U_3$.

Анализируя приведенные зависимости, нетрудно заметить, что увеличение температуры диэлектрического материала ведет к увеличению диэлектрических потерь и, как следствие, к ухудшению его изоляционных свойств. Особую осторожность следует соблюдать при выборе сложной (со-

ставной) многослойной изоляции (например, коаксиальные кабели), в структуру которой могут входить различные твердые, жидкие и полужидкие связующие, подвергающиеся в технологическом процессе термообработке. В структуре таких диэлектриков в процессе эксплуатации в различных температурных и частотных диапазонах в той или иной мере могут проявляться различные виды поляризации [3], от которых будет зависеть суммарный ток утечки и, соответственно, мощность потерь, которая определяется по следующей зависимости:

$$P = U^2 \quad \omega \quad c \quad tg\delta \ .$$

Таким образом, анализируя вышеприведенные теоретические и графические зависимости, необходимо при выборе соответствующих изолирующих элементов и конструкций, особенно для работы в электрических полях сложной конфигурации и высокой напряженности, обращать внимание не только на такие характеристики, как $U_{пр}$ и $tg\,\delta$, но, что не менее важно, и на $TK_{\xi_r}$, а для изоляции, работающей в высоковольтных устройствах при высоких частотах, - и на мощность диэлектрических потерь [4].

**Библиографический список**

1. *Воронова Н.П.* Диэлектрики: учебное пособие для электротехнических специальностей / Н.П. Воронова, Е.Ю. Микаэльян, Г.Е. Соловьев. – Ростов н/Д: РГУПС, 2003.
2. *Шваб А.* Измерения на высоком напряжении / А. Шваб. Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
3. *Серебряков А.С.* Электротехническое материаловедение: учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.С. Серебряков. – М.: Маршрут, 2005.
4. *Егоров В.В.* Техника высоких напряжений: учебник для ж.-д. вузов / В.В.Егоров. – М.: Маршрут, 2004

Материал поступил в редакцию 18.12.08.

**I.A.SEMKO, G.E.SOLOVIEV, N.P.VORONOVA, O.V.NEVRETDINOVA**

## PROCESSES OF POLARIZATION IN COMPLICATED STRUCTURE OF DIELECTRICS WITH COAXIAL DISPOSITION

In this article authors examine the question of watt losses in polarization of dielectrics and their influence on dielectric properties of insulation which has a complex structure.
In the article there are some graphs of quantitative and qualitative dependence of some characteristics from temperature for performance measurement of the material of insulation.
It is shown that for choice of elements and structures it is necessary to take into account the coefficient of permittivity of material.

**СЕМКО Игорь Александрович** (р.1940), профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» ДГТУ, кандидат технических наук (1972). Окончил РИСХМ (ныне ДГТУ) в 1963 г.
Область научных интересов – автоматизация систем управления приводом сложных объектов.
Имеет 210 публикаций.
isemko@dstu.edu.ru

**СОЛОВЬЕВ Георгий Евтихиевич** (р.1938), доцент кафедры «Теоретические основы электротехники» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), кандидат технических наук (1990). Окончил Ростовский институт железнодорожного транспорта (РИИЖТ), ныне – РГУПС.
Область научных интересов – работа высоковольтных электротехнических установок.
Имеет 115 публикаций.

**ВОРОНОВА Наталья Павловна**, доцент кафедры «Теоретические основы электротехники» РГУПС, кандидат технических наук (1983). Окончила РИИЖТ в 1970 г.
Область научных интересов – полупроводниковые термосопротивления.
Опубликовала 79 научных работ.

**НЕВРЕТДИНОВА Ольга Валерьевна**, аспирант кафедры «Теоретические основы электротехники» РГУПС. Окончила РИИЖТ в 1996 г.
Область научных интересов – работа диэлектрических конструкций в установках волоконно-оптических линий связи.
Имеет 4 публикации.